

BAB III

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan serangkaian tahapan proses agar tujuan dilakukannya penelitian dapat tercapai secara sistematis. Penelitian dimulai dengan peninjauan pustaka yang dapat mendukung dasar teori yang digunakan dalam penelitian ini. Setelah mendapatkan literatur yang sesuai maka dipilih rute proses yang sesuai pula dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan dan peralatan pendukung. Pada penelitian ini yang ditekankan adalah bagaimana membuat *aluminium foam* dengan proses yang mudah, bahan yang mudah didapat, dan murah.

3.1. Parameter Penelitian

Parameter utama yang ditentukan adalah rasio fraksi massa *foaming agent*, serbuk alumina (Al_2O_3), aluminium, dan temperatur penuangan *foaming agent*. Jika ditabelkan maka parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 sebagai berikut:

Tabel 3.1. Parameter Proses Pembuatan *Aluminium Foam*

Sampel	Fraksi Massa			Temperatur (°C)
	NaCl (%wt)	Al_2O_3 (%wt)	Al (%wt)	
A	0	0	100	850
B	25	3	72	850
C	30	3	67	850
D	35	3	62	850

Berikut ini adalah perhitungan masing-masing sampel dengan asumsi massa total tiap sampel adalah 300 gram.

1. 0% NaCl (sampel A)

- Massa Al : $100\% \times 300 \text{ gram} = 300 \text{ gram}$
 - Massa NaCl : 0 gram
 - Massa Al_2O_3 : 0 gram
2. 25% NaCl (sampel B)
- Massa Al : $72\% \times 300 \text{ gram} = 216 \text{ gram}$
 - Massa NaCl : $25\% \times 300 \text{ gram} = 75 \text{ gram}$
 - Massa Al_2O_3 : $3\% \times 300 \text{ gram} = 9 \text{ gram}$
3. 30% NaCl (sampel C)
- Massa Al : $67\% \times 300 \text{ gram} = 201 \text{ gram}$
 - Massa NaCl : $30\% \times 300 \text{ gram} = 90 \text{ gram}$
 - Massa Al_2O_3 : $3\% \times 300 \text{ gram} = 9 \text{ gram}$
4. 35% NaCl (sampel D)
- Massa Al : $62\% \times 300 \text{ gram} = 186 \text{ gram}$
 - Massa NaCl : $35\% \times 300 \text{ gram} = 105 \text{ gram}$
 - Massa Al_2O_3 : $3\% \times 300 \text{ gram} = 9 \text{ gram}$

3.2. Penyiapan Proses

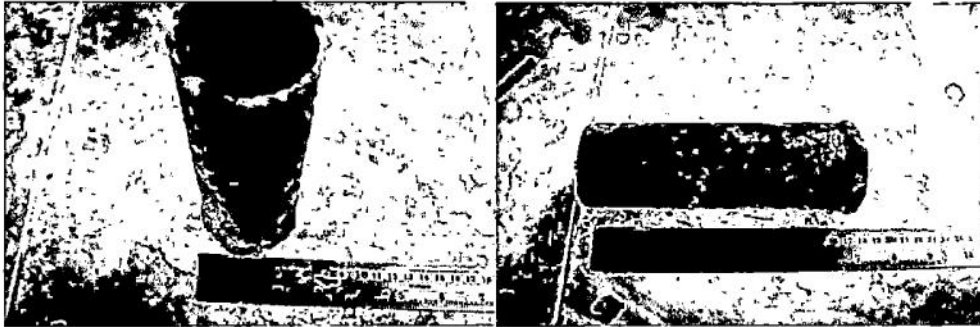
Penyiapan proses dalam penelitian ini dilakukan dengan mempertimbangkan ketersediaan bahan dan peralatan yang digunakan dalam proses. Adapun penyiapan proses yang dilakukan adalah penyiapan alat, penyiapan bahan, dan penimbangan bahan.

3.2.1. Penyiapan Alat

Peralatan merupakan bagian penting dalam melakukan penelitian untuk mendukung segala proses yang dibutuhkan dalam penelitian demi mendapatkan hasil yang sesuai dengan rencana. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Kowi

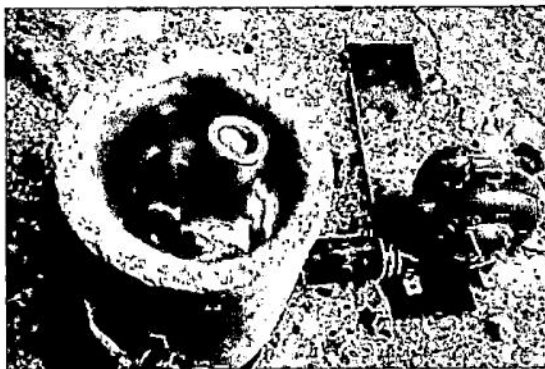
Kowi terbuat dari besi dan akan digunakan sebagai media peleburan aluminium. Kowi tersebut berdiameter 5,5 cm dengan tinggi 18 cm, dapat dilihat pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1. Kowi

2. *Conventional Furnace*

Pada penelitian ini aluminium dilebur menggunakan tungku manual (*conventional furnace*). Tungku dibuat dengan campuran semen, pecahan batu bata, dan pasir. Pada tungku tersebut terdapat saluran pipa besi yang berfungsi untuk meniupkan udara menggunakan *blower*. Tungku dapat dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2. *Conventional Furnace*

3. *Blower*

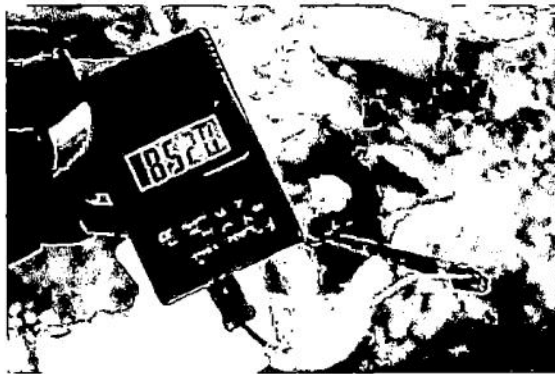
Blower adalah alat yang digunakan untuk meniupkan udara ke dalam tungku. Hal ini berfungsi untuk menaikkan atau menurunkan temperatur di dalam tungku. *Blower* yang digunakan adalah merk NRT PRO dengan ukuran 2 inch dengan kapasitas $V = 220$ Volt, $A = 1$ Ampere, dan kecepatan putar 3000/3600 rpm. *Blower* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3. *Blower*

4. Termokopel digital

Termokopel digital adalah alat jenis sensor suhu yang digunakan untuk mengukur temperatur pada kowi dan bisa juga digunakan untuk mengukur temperatur aluminium cair, dapat dilihat pada Gambar 3.4.



Gambar 3.4. Termokopel Digital

Termokopel digital yang digunakan adalah tipe K TM902C. Termokopel digital tersebut mampu mengukur temperatur dari -50°C hingga 1300°C .

5. Timbangan digital

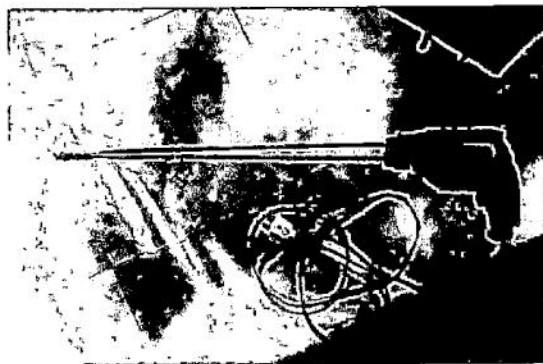
Timbangan digital adalah alat yang digunakan untuk menimbang bahan-bahan yang akan digunakan dalam penelitian. Timbangan digital yang digunakan pada penelitian ini adalah merk Camry™ dengan kapasitas maksimal 5000 g dan tingkat ketelitian 1 g. Timbangan digital tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.5.



Gambar 3.5. Timbangan Digital

6. Batang pengaduk

Batang pengaduk adalah alat yang digunakan untuk mengaduk (*stirring*) aluminium cair dan untuk mengaduk aluminium cair dengan NaCl. Batang pengaduk akan dipasang pada mesin bor tangan (*hand drill*), Gambar 3.6.

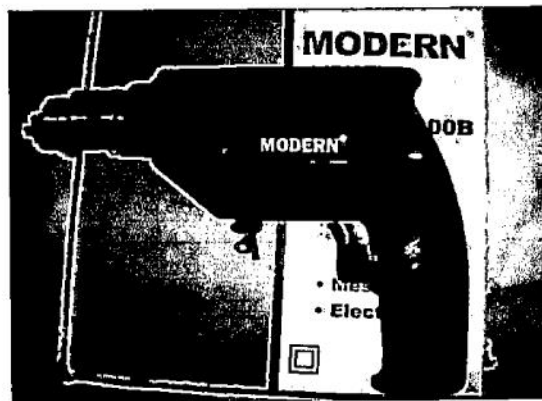


Gambar 3.6. Batang Pengaduk

Batang pengaduk tersebut terbuat dari besi dan diberi kawat yang mengulir pada ujung batang pengaduk yang bertujuan agar aluminium cair dan NaCl dapat tercampur secara merata.

7. *Hand drill*

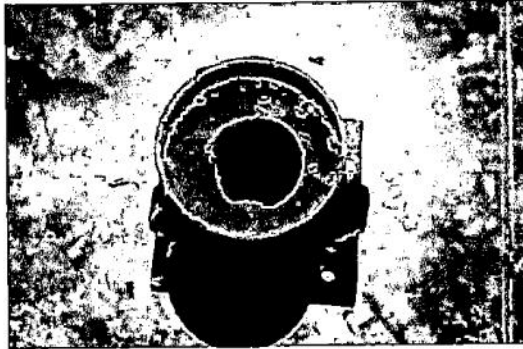
Hand drill atau bor tangan adalah alat yang akan dipasangkan pada batang pengaduk yang akan digunakan untuk mengaduk campuran aluminium cair dengan NaCl. *Hand drill* yang digunakan adalah merk Modern™ tipe M 2100 B, dengan daya 260 Watt dan kecepatan putar tanpa beban 0-2200 rpm. *Hand drill* tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.7.



Gambar 3.7. *Hand Drill*

8. Cetakan

Cetakan digunakan untuk mencetak hasil pencampuran aluminium cair dengan NaCl dengan cara menuangkan campuran tersebut ke dalam cetakan. Cetakan terbuat dari besi berbentuk silinder dan dilas sedemikian rupa. Kemudian besi berbentuk silinder kecil dimasukkan ke dalam cetakan sebagai pola, kemudian cetakan diisi dengan abu vulkanik sehingga bagian pinggir cetakan terisi oleh abu vulkanik. Kemudian besi pola dicabut dan akan terbentuk rongga yang berfungsi sebagai tempat saat penuangan aluminium cair ke dalam cetakan. Cetakan tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.8.



Gambar 3.8. Cetakan yang Sudah Diisi dengan Abu Vulkanik

9. Perlengkapan pendukung

Perlengkapan pendukung yang digunakan yaitu palu, tang penjepit, penjepit kowi, penggaris, sendok besi, sarung tangan, kalkulator, dan kamera. Kamera sangat penting sebagai alat untuk dokumentasi semua hal yang berhubungan dengan penelitian ini. Kamera yang digunakan adalah *Digital Single Lens Reflex* (DSLR) merk Canon tipe EOS 600D seperti yang terlihat pada Gambar 3.9.



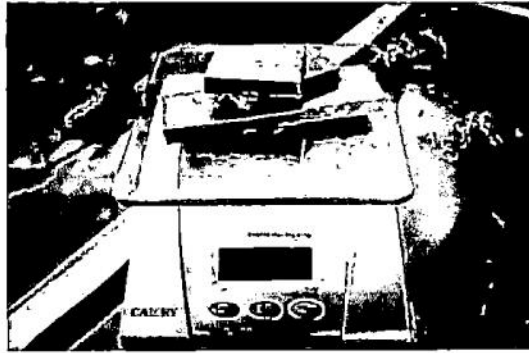
Gambar 3.9. Kamera

3.2.2. Penyiapan Bahan

Setelah semua perlengkapan disiapkan tahap selanjutnya adalah menyiapkan bahan-bahan yang akan digunakan. Bahan-bahan yang digunakan untuk penelitian adalah sebagai berikut:

1. Aluminium

Aluminium yang digunakan adalah aluminium berbentuk plat batangan seperti pada Gambar 3.10. Sebelum dilakukan peleburan pada aluminium terlebih dahulu aluminium disiapkan dengan memotong aluminium 5-10 cm dan ditimbang sesuai dengan parameter masing-masing sampel.



Gambar 3.10. Aluminium Batangan

2. *Natrium Chloride* (NaCl)

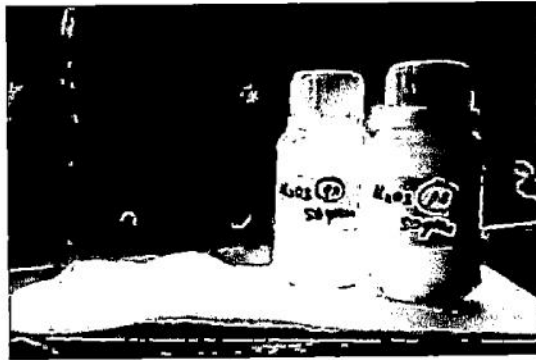
NaCl yang digunakan mempunyai ukuran *mesh* 140 atau 0,105 mm yang sebelumnya telah diukur menggunakan ayakan khusus di Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. NaCl yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.11.



Gambar 3.11. NaCl yang Digunakan

3. Aluminium Oxide (Al_2O_3)

Sama halnya seperti aluminium dan NaCl , Al_2O_3 yang akan digunakan terlebih dahulu ditimbang sesuai dengan parameter masing-masing sampel. Al_2O_3 yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.12.



Gambar 3.12. Al_2O_3 yang Digunakan

4. Arang Kayu

Arang kayu digunakan sebagai bahan bakar untuk proses pembakaran atau peleburan aluminium. Arang yang digunakan dapat dilihat pada Gambar 3.13.



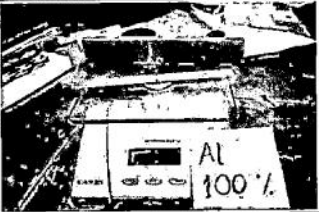
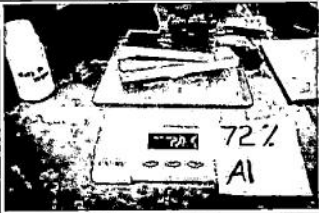
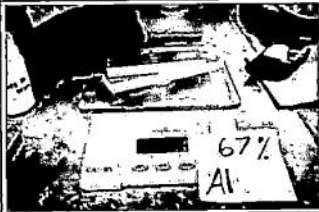
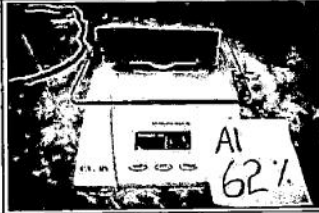
Gambar 3.13. Arang Kayu



3.2.3. Penimbangan Bahan

Penimbangan bahan dilakukan sesuai dengan perhitungan pada sub bab 3.1. Penimbangan dilakukan dengan menggunakan timbangan digital. Bahan yang telah ditimbang diletakkan pada wadah yang telah disediakan agar bahan tidak

tertukar dengan bahan untuk sampel yang lain. Setelah semua bahan ditimbang sesuai dengan perhitungan masing-masing sampel, maka bahan siap untuk proses peleburan atau proses pembuatan *aluminium foam*. Proses penimbangan dapat dilihat pada Tabel 3.2, Tabel 3.3, dan Tabel 3.4.

Tabel 3.2. Penimbangan Aluminium Sesuai Parameter

Sampel	Fraksi Massa Al (%wt)	Massa (g)	Gambar
A	100	300	
B	72	216	
C	67	201	
D	62	186	

			
D	35	105	

3.3. Proses Pembuatan *Aluminium Foam*

Pembuatan *aluminium foam* pada penelitian ini menggunakan proses *direct foaming* menggunakan *foaming agent* (Alporas). Proses tersebut dimulai dengan peleburan aluminium yang telah dipotong kecil-kecil menjadi cair, pengukuran temperatur, penuangan serbuk Al_2O_3 dan diaduk hingga tercampur merata, penuangan aluminium cair ke dalam cetakan, penuangan *foaming agent* (NaCl), proses pengadukan di dalam cetakan, proses *foaming*, dan pelepasan produk *aluminium foam* dari cetakan.

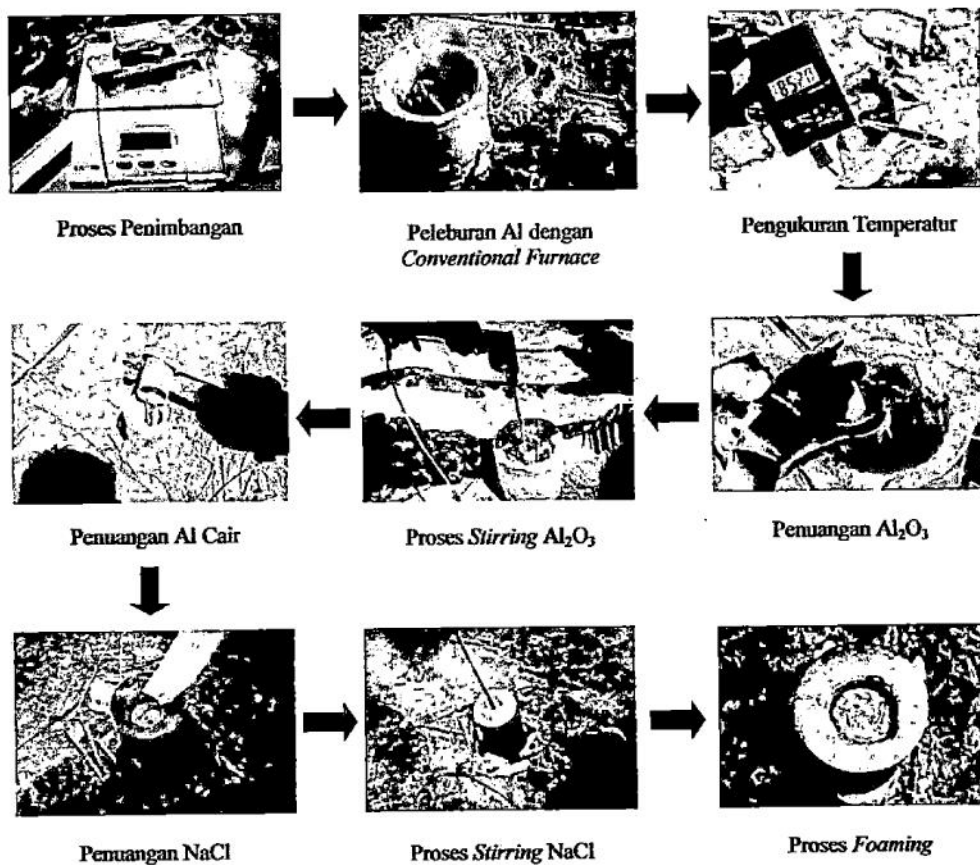
Aluminium yang telah dipotong kecil-kecil dan dimasukkan ke dalam kowi tersebut dilebur hingga mencapai titik leburnya yaitu pada suhu 660°C , setelah aluminium mencair dilakukan pembersihan terak-terak yang terdapat pada aluminium cair. Kemudian pengukuran temperatur aluminium cair menggunakan *thermocouple* tipe K, suhu dibiarkan naik hingga sekitar 850°C .

Tahap selanjutnya adalah melakukan penuangan serbuk Al_2O_3 ke dalam cairan aluminium pada suhu sekitar 850°C dan dilakukan proses pengadukan (*stirring*) selama sekitar 5-10 detik dengan menggunakan batang pengaduk yang telah dipasang pada mesin bor tangan dengan kecepatan putaran antara 1500 hingga 2000 rpm. Al_2O_3 pada aluminium cair berfungsi sebagai penstabil gelembung gas pada saat proses *foaming* berlangsung.

Tahap selanjutnya adalah melakukan penuangan aluminium cair ke dalam cetakan. Kemudian serbuk NaCl dituang ke dalam cetakan secara perlahan agar serbuk tidak tumpah. Setelah semua serbuk NaCl dituang maka dilakukan pengadukan (*stirring*) dengan menggunakan batang pengaduk yang terpasang pada mesin bor tangan (*hand drill*) selama sekitar 10 detik hingga NaCl terdistribusi secara merata pada cairan aluminium dengan kecepatan putaran sekitar 1500 hingga 2000 rpm.

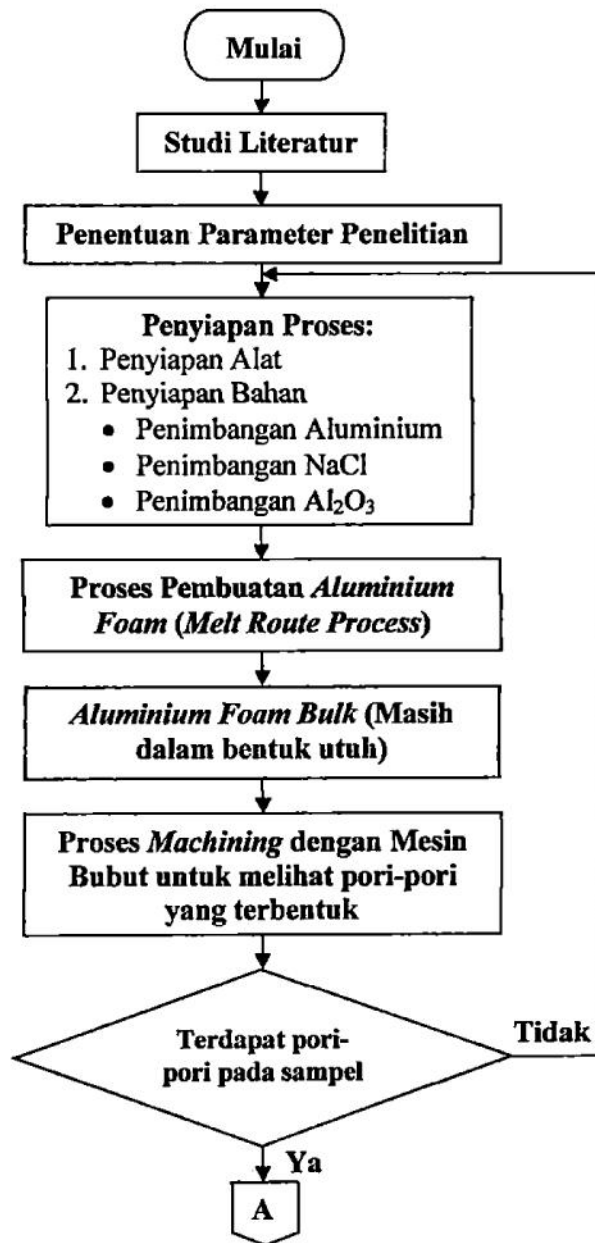
Tahap selanjutnya adalah mengeluarkan batang pengaduk dari aluminium cair (*semi-solid*) yang mulai mengembang secara signifikan. Kemudian proses *foaming* akan berlangsung sekitar 10-60 detik. Jika aluminium *semi-solid* telah berhenti mengembang maka proses selanjutnya adalah pendinginan. Proses pendinginan adalah membiarkan aluminium *semi-solid* di dalam cetakan selama

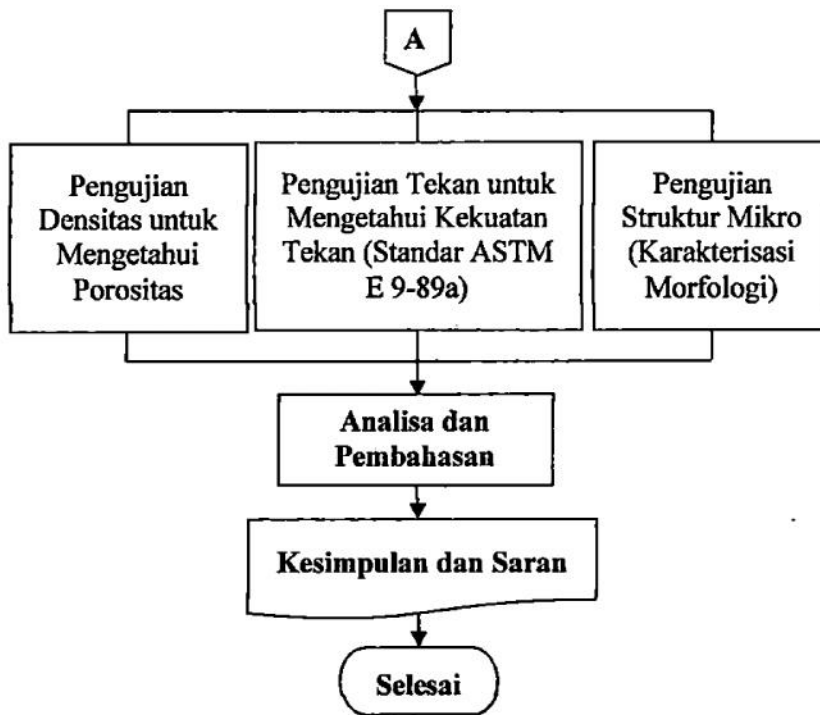
sekitar 10-20 menit. Kemudian produk *aluminium foam* tersebut dikeluarkan dari cetakan. Jika semua proses tersebut telah selesai maka produk *aluminium foam* siap untuk dilakukan proses permesinan (*machining*) dan karakterisasi atau pengujian. Adapun rangkaian tahapan proses pembuatan *aluminium foam* dapat dilihat pada Gambar 3.14.



Gambar 3.14. Rangkaian Tahapan Proses Pembuatan *Aluminium Foam*

3.4. Diagram Alir Penelitian

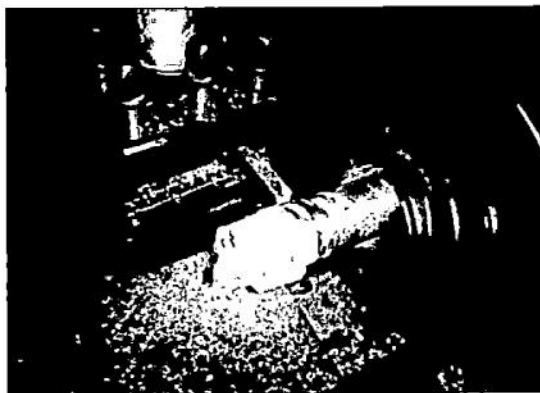




Gambar 3.15. Diagram Alir Penelitian

3.5. Karakterisasi Produk *Aluminium Foam*

Semua produk *aluminium foam* yang masih berbentuk *bulk material* atau utuh selanjutnya dibubut (Gambar 3.16.) agar pori-pori terlihat dan untuk membentuk sampel/spesimen uji.



Gambar 3.16. Proses Pembubutan

Sampel yang telah dibubut kemudian dilakukan pengujian. Namun sebelum pengujian dilakukan terlebih dahulu sampel direndam dalam air dengan temperatur 80°C selama 15 menit dan dilakukan pengadukan air untuk menghilangkan sisa-sisa NaCl yang masih terdapat pada sampel, kemudian sampel dikeringkan. Setelah sampel kering maka siap dilakukan pengujian pada masing-masing sampel. Pengujian produk atau spesimen *aluminium foam* dilakukan untuk mengetahui persentase porositas, kekuatan tekan, dan mengetahui struktur mikro *aluminium foam*. Masing-masing spesimen atau sampel akan melalui tahap pengujian yang sama.

3.5.1. Pengujian Porositas

Pengujian porositas dilakukan untuk mengetahui besarnya persentase porositas dari produk *aluminium foam* yang dibuat dengan NaCl sebagai *foaming agent*. Untuk mengetahui porositas terlebih dahulu menghitung densitas sampel. Pengujian densitas adalah pengukuran massa suatu benda per unit volume dengan satuan g/cm^3 . Adapun tahapan pengujian densitas dan porositas adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel produk *aluminium foam*.
2. Menghitung volume sampel tersebut dengan menggunakan persamaan berikut:

$$V = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \cdot h \quad \dots\dots\dots (3.1)$$

Dimana:

V = Volume sampel (cm^3)

d = Diameter sampel (cm)

h = Tinggi sampel (cm)

3. Menyiapkan timbangan digital.
4. Menimbang massa kering masing-masing sampel.

5. Menghitung densitas sampel dengan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$\rho_E = \frac{W_D}{V} \dots\dots\dots (3.2)$$

Dimana:

ρ_E = Densitas sampel (g/cm^3)

W_D = Massa kering sampel (g)

V = Volume sampel (cm^3)

6. Menghitung persentase porositas sampel dengan perhitungan menggunakan persamaan berikut:

$$P = \frac{\rho_{teoritis} - \rho_{percobaan}}{\rho_{teoritis}} \cdot 100 \% \dots\dots\dots (3.3)$$

Dimana:

P = Porositas (%)

$\rho_{teoritis}$ = Densitas teoritis (g/cm^3)

$\rho_{percobaan} = \rho_E$ = Densitas percobaan (g/cm^3)

3.5.2. Pengujian Kekuatan Tekan

Pengujian kekuatan tekan dilakukan untuk mengetahui kekuatan tekan pada sampel *aluminium foam* dengan persentase NaCl 25%, 30%, 35%, dan pada sampel dengan persentase NaCl 0%. Kekuatan tekan (*compressive strength*) adalah kemampuan suatu material untuk menerima pembebanan tekan tanpa mengalami kerusakan yang dinyatakan sebagai tegangan maksimum sebelum putus. Dengan demikian kekuatan tekan dinyatakan sebagai tegangan tekan. Tegangan tekan didefinisikan sebagai distribusi gaya persatuan luas penampang

material. Sehingga jika ditulis dalam persamaan maka kekuatan tekan atau tegangan tekan dapat ditulis sebagai berikut:

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2 \quad \dots\dots\dots (3.4)$$

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

A = Luas permukaan sampel (mm^2)

d = Diameter sampel (mm)

σ = Kuat tekan (N/mm^2)

F = Gaya maksimum yang diterima sampel atau beban puncak (N)

Sedangkan regangan tekan dapat didefinisikan sebagai perubahan panjang (*displacement*) dibagi dengan panjang atau tinggi awal sampel uji tekan tersebut, seperti pada persamaan berikut:

$$\varepsilon = \frac{L}{L_o} \quad \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana:

ε = Regangan (mm/mm)

L = *Displacement* (mm)

L_o = Panjang atau tinggi awal sampel (mm)

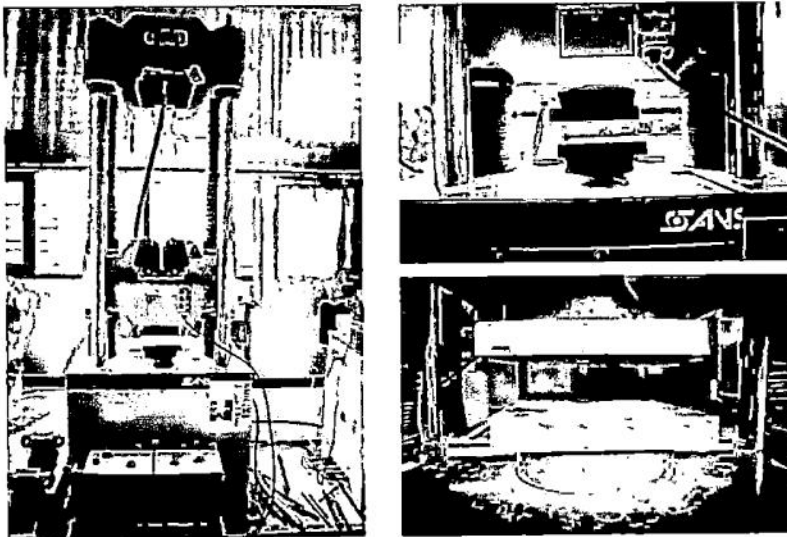
Penekanan dilakukan dengan memberikan beban secara konstan, kemudian kenaikan beban akan direkam oleh komputer. Selama penekanan dilakukan sampel yang sedang diuji tersebut dipotret.

Pengujian dilakukan di Laboratorium Material Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Negeri Sebelas Maret. Standar pengujian yang

digunakan adalah ASTM E 9-89a. Adapun tahapan pengujian yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji.
2. Menyalakan mesin UTM.
3. Mengukur diameter dan tinggi awal sampel dengan jangka sorong.
4. Memasang sampel pada *load cell* mesin UTM.
5. Memotret sampel yang diuji dari awal hingga akhir proses penekanan.
6. Hentikan pengujian saat sampel telah hancur atau saat beban maksimum alat uji tekan telah tercapai.
7. Cetak atau *print* hasil grafik uji tekan tiap sampel.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan mesin UTM (*Universal Testing Machine*) seperti Gambar 3.17.

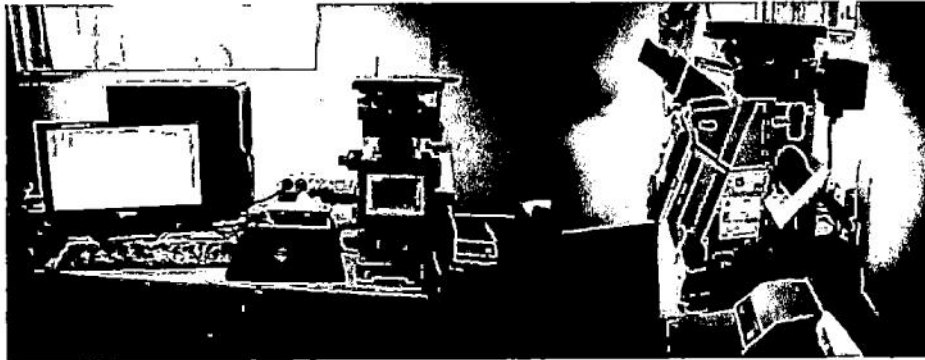


Gambar 3.17. *Universal Testing Machine* (kiri), *Load Cell* (kanan)

3.5.3. Pengujian Struktur Mikro

Pengujian struktur mikro dilakukan dengan menggunakan kamera optilab yang terdapat pada mikroskop. Pengujian dilakukan menggunakan *Metallurgical*

Microscope Inverted Type dengan merk Olympus yang terhubung dengan komputer seperti pada Gambar 3.18.



Gambar 3.18. *Metallurgical Microscope*

Pengujian dilakukan di Laboratorium Bahan Teknik Program Diploma Teknik Mesin Sekolah Vokasi Universitas Gadjah Mada. Adapun tahapan yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan sampel yang akan diuji.
2. Melakukan pemotongan secara melintang atau *cross section* pada bagian sampel yang berpori.
3. Mengamplas permukaan sampel dengan menggunakan amplas dari grit 100, 400, 600, 800, 1000, dan 1500.
4. Membersihkan permukaan sampel dengan kain lap lalu mengeringkannya.
5. Memberikan larutan etsa pada permukaan sampel yang akan dilihat poriporinya.
6. Mengamati sisi sampel yang berpori dan telah dietsa lalu memotret menggunakan mikroskop optik dengan perbesaran tertentu.